

日本体育大学紀要 18 卷 1 号 (1988) 23-27

ワイヤーと力量計による水泳中の牽引力の測定

——簡便法を指導場面に応用——

石井 喜八¹・熊本 和正²・上野 裕一³

趙 秋蓉⁴・陳 崢¹

(昭和 63 年 5 月 9 日受付, 昭和 63 年 6 月 27 日受理)

Measurement of Forces Exerted in Tethered Swimming

—Application of Simplified Method to Practical Guidance—

Kihachi ISHII, Kazumasa KUMAMOTO, Yuichi UENO,

Qiuorong ZHAO and Zheng CHEN

The authors measured forces developed in the tethered swimming, in which intercollegiate swimmers attached with the wire-dynamometer system made to occur pulling force during legless work, kicking force during armless work and swimming together pulling and kicking with their full efforts during four kinds style of swimming.

From the results, it was identified that the force obtained by this method presented the power output developed by either the shoulder girdle in the case of pulling or the pelvic girdle in the case of kicking or both (in the case of swim). Also, from the comparing and discussing each the forces developed during pulling, kicking and swimming with the other data of international elite swimmers in the previous studies, we can suggest that the coaching and teaching skills for swimming be more suitable and concrete to the practical guidance.

ワイヤーと力量計による水泳中の牽引力の測定

競技力の向上を目標とする選手たちの身体的能力の測定は、その選手が発揮する競技成績、あるいはトレーニング期間を挟んでのきたるべき競技会で、これまでの記録が改善できる見通しを得るために行うものであろう。したがって、競技力向上に助言を与えているコーチ、あるいは、スポーツ科学研究の立場から選手を応援する研究者は、これら測定結果に関心を持つことになる。

この研究は、練習の現場で、コーチたちがこの種の測定を組み込む場面を想定し、測定法が簡便であり、且つ、上述の目的に沿った信頼性ある測定水準を考慮した実用的測定法の検索を目的としている。

今回扱う測定は、水泳運動の推進力のうち、泳者が前進のための力源を知るために、張力計を牽引した際に出現する力を測定した。水泳中の牽引力の測定の試みは多くの人が^{1)~9)}によって行われてきた。その多くは水泳

運動を行わせるとき、ワイヤーの付いたベルトを泳者の腰に着けて、ワイヤーに加わる張力を測定している。したがって、水泳運動中 (swimming) ではなく、制約された水泳運動 (tethered swimming) 中の牽引力を測定していることになる。しかし、この牽引力測定のための条件が報告されていない。筆者らはこの条件をも明らかにしようとした。

方 法

本学水泳部員 (大学対抗戦出場 of 男女それぞれ 5 名) がこの実験に参加した。表 1 には被検者ごとに年齢、性別、身長、体重、そして競技歴をまとめて示した。

牽引力測定のために、電気式張力計をプールサイドに固定し、被検者の腰に装着した革ベルトに直径 2.0 mm のスチールワイヤーを介して結んだ。ワイヤーは、水面に平行になるように検者の一人が支えた。このワイヤ

¹ 体育研究所, ² 大阪薬科大学, ³ 武道学 6 ラグビー, ⁴ 西安体育学院

Table 1. Basic information of the subjects. Age in years, height in cm, weight in kg, career in years.

Subj.	Age	Sex	Height	Weight	Career
J. M.	20	male	175.0	65.0	14
T. K.	20	male	171.0	67.0	9
M. S.	19	male	174.0	72.0	10
M. Y.	18	male	167.0	62.0	12
T. O.	20	male	165.0	59.0	9
mean	19.4		170.4	65.0	10.8
S. D.	0.9		4.3	4.9	2.2
H.N.	19	female	173.0	67.0	11
T. N.	20	female	158.0	54.0	12
Mt. O.	20	female	160.0	59.0	8
A. H.	18	female	168.0	59.0	11
Md. O.	19	female	155.0	46.5	10
mean	19.2		162.8	57.1	10.4
S. D.	0.8		7.5	7.5	1.5

ーの長さを選択するために、5 m 以上、5 m, 3 m, 2 m, 1 m の各長さで試行した。用いたワイヤーは、長軸方向に力を加えた場合に、弾性は殆んど認められなかった。較正曲線は電気式張力計を垂直状態に保ち、ワイヤーを介して静的荷重を変化させ求めた。

一方、新しく製作した立泳ぎ用の浮上力測定装置¹⁰⁾を用いて各種泳法時の水平方向の押力を測定した。この時の力は、電気式応力検出器により測定されるもので、押力とは牽引力と逆方向で、検出器に対して水平方向に加圧した時の抗力を測定したものである。

泳ぐ運動の型は、クロール、平泳ぎ、バタフライ、背泳の四種目であり、すべての型について測定を試みた。各泳法ごとに、プル (pull; 腕の運動のみによる牽引)、キック (kick; 脚の運動のみの牽引)、そして、スイム (swim; 四肢運動の調整運動時の牽引) に区別して測定した。測定の順は上述の項目順であり、牽引力発揮時間はそれぞれ 20 秒間とし、声援を送って全力発揮を促した。各試行間には回復が認められる休息時間を挟んだ。

測定手順は次のようである。各被検者は十分に W-up ののち、腰ベルトを装着して入水し、クロール、平泳ぎ、バタフライの場合、水中で伏臥位、背泳では仰臥位をとり、体幹の長軸にそろえて、四肢を伸展させた。このとき、検者の一人が、泳者の腹部または、腰部を支える事により水面上に浮く姿勢を補助した。各被検者の意志によって運動を開始させ、20 秒ののち、運動を停止させた。

各運動において、プル動作時には両足にビート板を挟

み、また、キック動作時には両手にビート板を保持させた。すべての運動のテンポは各被検者の任意とし、各動作の回数は、アナログデーターとして電氣的記録器に描記させると同時に、検者の一人が数えた。

各種目別に、被検者の最大牽引力を求めるために、各試行の 20 秒間の記録のうち、運動開始より連続して現われた 5 周期の曲線を選び、その平均値を計測、較正して kg 単位であらわした。これを最大牽引力とした。

結 果

1) ワイヤーの長さとの記録

ワイヤーの長さを 5 m 以上または 5 m にしたときには、記録紙上にあらわれた力・時間曲線は連続 5 周期が見出せない程に乱れ、しかも、検者の一人が視覚を通して数えたストローク数と記録紙上の力の振動回数は全く一致しなかった。そのため、5 m のワイヤーの長さでは、測定が不可能であると結論した。

3 m と 2 m の 2 種類の長さのワイヤーによる牽引力の記録は、5 m の記録と比較して、記録紙上の力の振動回数は視覚によって数えたストローク数と、ほぼ一致するが、5 回連続で最大値があらわれるという条件に合致しない被検者があった。

1 m および 1.5 m のワイヤーの長さについて測定を試みたところ、記録・測定以前に泳運動が円滑に遂行されなかった。そこで、1.8 m の長さのワイヤーを調節し牽引を試みたところ、比較的運動が円滑に遂行され、しかも、記録、測定上の各条件に一致した。そこで牽引力

Table 2. Forces exerted during tethered swimming (in unit of kg).

		Male	Female
Crawl	Swim	12.4±1.1	7.4±2.1
	Pull	6.7±1.3	4.6±2.6
	Kick	4.4±0.3	2.8±0.7
Breast	Swim	20.3±2.2	10.9±2.4
	Pull	10.3±1.0	3.8±2.2
	Kick	10.7±3.7	6.3±2.7
Back	Swim	12.2±1.9	5.9±1.2
	Pull	8.9±3.3	4.9±1.5
	Kick	5.4±1.0	4.0±2.5
Butterfly	Swim	9.9±2.3	5.6±3.9
	Pull	7.8±3.2	4.0±2.2
	Kick	8.6±4.5	3.2±1.2

測定の条件として、ワイヤーの長さを 1.8 m とした。

一方、新作の測定装置は、押力が泳者の頭部と固定した電気式応力検出器の一部と直接、接触させて測定する方法になっているが固定した接触面に対する力発揮は観察によるストローク数と記録の振幅数が一致しなかった。

2) 測定した牽引力

ワイヤーの長さを 1.8 m にして、4 種目の泳法ごとに、プル動作 (pull)、キック動作 (kick)、そして、スイム動作 (swim) とし、それぞれの牽引力を性別にして平均値と標準偏差で示した (表 2)。

論 議

自力によって身体を水中あるいは水上で進める身体運動は、身体の特定の部位を水中で運動させて水に対して抗力を発生させる。この抗力に対する作用力 (net force) を利用して前進運動を起こすが、水中を移動することにより今度は水の流体抵抗を受けるというように、複雑な力学的要素が関係する。

これまでも種々の測定装置が開発され、各種泳法によって発揮される力をワイヤーを介して測定してきている。しかし、測定されてきた力の多くは、ワイヤーを介して腰部が牽引する力 (tethered force) であり、決して推進力 (propulsive force) ではない。

筆者らは、水泳運動の力源を両上肢帯および両下肢帯が発揮する力として測定してきた。例えてみれば、四輪駆動車のそれぞれのエンジンの大きさを調べていることになる。これは、競技力の一つの重要な要素であるが、

身体の前進に伴う水流・造波・渦などの抵抗との関係はここでは考えていない。

1) 張力計から泳者までの距離と測定記録

今回試行のために選んだワイヤーの長さが、長くなるにしたがい、測定記録の用紙上の力曲線の振動数は、検者の一人が観察によって数えたストローク数と全く一致がみられなくなる。また、最小の長さであった 1.0 m と 1.5 m では泳運動が制約された。泳者の頭部を固定した応力検出器に、直接、接触させた場合にも同様の結果であった。

この理由は、ワイヤーまたは、固定の応力検出器に十分に力が作用した直後、泳者の身体は作用した力の反対方向へ動かされ、ワイヤーは緊張状態を失うからであり、固定応力検出器の場合は泳者が、接触面から離れる現象が観察された。

そこで、ワイヤーに加わる力の持続と泳者の身体運動が容易に行われるという整合性から、ワイヤーの長さは、約 1.8 m が適切であるという結果を得ることになった。われわれは電気式張力計を用いたが、コーチや学校教師がこの種の方法を採用するときには、30 kg 用の筒型パネ秤が利用できる。この実験で用いたワイヤーは、太さ 2 mm の撚り線のスチール製で、測定のための整合性をもって約 1.8 m と決定をみたことは、コーチや学校教師にとって簡便で、然も信頼性の高い方法として推奨できる結果を得たといえる。

2) 泳者固定による各種泳法時の牽引力

この研究で得た測定結果を先行研究と比較すると Mosterd ら⁹⁾ は、この実験と同一方法で 20 秒間の各種泳法時の牽引力を男子選手について測定したところ、クロールでは 13.4 kg、バタフライが 13.1 kg、背泳が 14.1 kg、平泳ぎが 20.9 kg の平均値を得ている。また、女子選手では、クロールが 9.0 kg、バタフライが 6.2 kg、背泳が 11.6 kg、平泳ぎが 15.5 kg であったという。さらに、20秒間のプルとキック各動作時の牽引力をも測定している。この被検者はオランダの一流水泳選手であった。

Magel, T. R.⁹⁾ は、同様な方法で男子選手 26 名について測定を行ったが、運動時間を 60 秒間にしている。競技時間に接近させ、競技記録との関係を求めているといえるであろう。彼のデータはクロールが 10.3 kg、バタフライが 9.9 kg、背泳が 10.8 kg、平泳ぎが 16.0 kg という。この被検者はアメリカのオリンピック選手 2 名を含む全米選手権大会出場者たちである。

上述の測定値と今回われわれが得た測定値を比較する

と、全般的に得られた数値は小さい。この理由として、われわれの被検者は本学競泳選手であったからであろう。

それにしても、クロールと背泳のスイム、ブル、キック動作時に得られた測定値は近似している。しかも、ブル動作とキック動作時の測定値を比較するとブル動作時の牽引力が大きい。これをみると、水泳選手がこれらの種目で前進をするときには、上肢帯の出力パワーを大きく用いていることがわかる。

平泳ぎにおける両上・下肢を一緒に用いての泳法 (swim) 時に牽引力は、他の泳法に比し最大である。しかし、平泳ぎの競技記録は最低値を示す。Magel はこのことに触れ、手足を蹴る準備のために戻す動作 (recovery movement) 時の水流抵抗が最大になるからであろうとしている。筆者らがさらに加えれば、水流抵抗は速度の 2 乗に比例するのであるから、低速度で泳げば、この出力パワーは有利に働くことになる。したがって、遠泳に用いられる泳法であるということができる。

Mosterd らは、クロールについて、上肢と下肢運動をみているが、牽引力を出力パワーとすると彼等のデータは、おおよそ男子で 7 対 3、女子では 6 対 4 と上肢の割合が大きい。背泳では、男子、女子ともおおよそ 6 対 4 の割合である。平泳ぎは、下肢運動の出力パワーが大きく、男女とも約 4.5 対 5.5 の割合を示す。バタフライは上・下肢ともほぼ同程度の割合である。

一方、今回得たわれわれのクロールについての結果は、男子で 6 対 4 である。女子は、6 対 3 を示すが、出力パワーの絶対値は男子 (pull; 6.7 kg, kick; 4.4 kg) に比し、女子 (pull; 4.6 kg, kick; 2.8 kg) と、下肢による出力パワーは極端に小さい。背泳では男子が 6 対 4、女子が 5.5 対 4.5 という割合である。

Mosterd らはクロールのとき、男子では pull 時 11.6 kg, kick 時 5.1 kg であり、女子では pull 時 6.6 kg, kick 時 4.0 kg と報告している。この世界一流の女子群の値は今回の男子被検者から得た数値に近似している。また、背泳のときの数値をみると、男子では pull 時 10.2 kg, kick 時 6.1 kg であり、女子では pull 時 7.3 kg, kick 時 5.1 kg であったという。

われわれの得た結果および上述の Mosterd らの数値から、クロールと背泳は、上肢の出力パワーを同様の割合で発揮させているといえる。これでは単に、クロールと背泳では伏臥と仰臥の姿勢の違いであり、四輪駆動車に例えた場合にしても、出力パワー発揮の源泉が同一であることになり泳法の特異性がでないことになる。

また、Mosterd らのデータからみて、現在の世界の男子一流選手のクロールは両腕で水面を這っていると表現してもよさそうである。したがって、クロールで上下肢の出力パワーが 6 対 4 の割合で発揮している今回の男子被検者群は、上半身の筋パワーのさらなる強化と、今回の女子被検者群は、上下肢とも全面的な筋パワーの向上がトレーニングに期待されると指摘できる。

平泳ぎについて測定したわれわれの結果は、男子被検者の上下肢の出力パワーの割合は Mosterd らの割合に近似する。しかし、Mosterd らの女子選手の上下肢の出力パワーの割合は 3.5 対 6.5 と、さらに強く下肢を働かせている。絶対値からみると、Mosterd らは、男子が pull 時 11.9 kg, kick 時 14.1 kg, 女子が pull 時 6.5 kg, kick 時 11.7 kg であったという。今回の資料では、男子の pull 時 10.3 kg が最も近い値であって、男子の kick 時および女子の pull 時と kick 時とも低値を示した。

バタフライ時の牽引力は Mosterd らによると、男子の pull 時 7.7 kg, kick 時 9.4 kg, 女子では pull 時 4.2 kg, kick 時 4.1 kg であったという。

バタフライの泳法をみると、われわれのデータと Mosterd らのデータの傾向は、pull or kick 時は、ほぼ近似しているといえるが、上下肢を一緒にして使用する swim 運動のとき、本学競泳選手の牽引力は絶対値が低い。他の三種目に比し、pull or kick 時に発揮された力が効果的に swim 動作時の牽引力に貢献できなかったことを示唆する結果といえる。

要 約

ワイヤーを使って各種泳法のブル動作、キック動作、両者を用いてのスイム動作時の牽引力を測定した。

その結果、測定された牽引力は、上肢帯および下肢帯それぞれ両者を一緒に用いたときの力源を表わすといえる。測定条件としてスティールワイヤーが 2 mm のとき、1.8 m が適切であることがわかった。

先行研究とわれわれの被検者が示すデータから最近の各種泳法における上下肢の用いられる特徴が指摘された。さらに、世界の一流選手のデータと比較するとき、筋パワーの強化部位が指摘できる。

このような簡便法を用いることによって、コーチあるいは水泳指導者の指導資料が得られることがわかった。

文 献

- 1) Alley, L. E.: Analysis of water resistance and propulsion in swimming crawl stroke. *Res. Quart.*, **23**: 253-70, (1952).
- 2) Catteau, R.: 水泳における推進力. *Olympia.*, **27**: 50-51 (1965).
- 3) Counsilman, J. E.: Forces in swimming two types of crawl stroke. *Res. Quart.*, **26**: 127-139 (1955).
- 4) Cureton, T. K.: Mechanics and kinesiology of swimming. (The crawl flutter kick). *Res. Quart.* **14**: 87-121 (1930).
- 5) 角野晃二: 泳法力学的分析. 水泳, No. 128・129: 12-14 (1959).
- 6) Karpovich, P. V.: Analysis of the propelling force in the crawl stroke. *Res. Quart.*, **6**: 49-58 (1935).
- 7) Karpovich, P. V. and K. Pestrecov: Mechanical work and efficiency in swimming crawl and back strokes. *Arbeitsphysiol.*, **10** (5): 505-515 (1939).
- 8) Magel, J. R.: Propelling force measured during tethered swimming in the four competitive swimming styles. *Res. Quart.*, **41** (1): 68-74 (1970).
- 9) Mosterd, W. L. and J. Jongbloed: Analysis of the stroke of the highly trained swimmers. *Int. Zeitschrift. ange. physiol.*, **20**: 288-293 (1964).
- 10) 原 朗, 柳 等, 清原伸彦, 当麻成人, 石井喜八: 立泳ぎのときに発揮される浮き上がる力の測定. 日本体育大学紀要, **17** (2): 115-122 (1988).